UTTORKNING AV BYGGFUKT I SJÄLVKOMPAKTERANDE BETONG

Kristina Norling Mjörnell

Förord

Det har under lång tid bedrivits intensiv forskning om fuktegenskaper hos betong med traditionell sammansättning. Allteftersom produktionstekniken förändras ställs andra krav på materialet. På senare år har speciella sammansättningar på betong tagits fram för att möta dessa krav. De nya betongsammansättningarna har andra materialegenskaper än den konventionella betongen som påverkar hur materialets fungerar i konstruktionen. Ett område är uttorkning av byggfukt.

NCC har fått medel från SBUF för att undersöka fuktegenskaper hos självkompakterande betong jämfört med konventionell betong. Projektet har genomförts i samarbete med Institutionen för byggnadsmaterial på Chalmers Tekniska Högskola, där laboratoriemätningar har utförts. Linlab inom NCC Roads AB har designat betongsammansättningar till laboratorieförsök och utfört fältmätningar.

Stort tack till Lars Söderlind, Lars Söderlind Konsult HB (tidigare NCC) som initierade och sökte medel till projektet, Helene Wengholt Johnson, Sundolitt (tidigare NCC) som var projektledare i projektets första fas, Juhan Aavik på Chalmers tekniska högskola som utfört huvuddelen av laboratoriemätningarna och Marie Karlsson på Linlab som designat betongsammansättningarna och utfört fältmätningarna. Tack även till Lars-Olof Nilsson, Chalmers tekniska högskola och Ted Rapp, Sveriges Byggindustrier för deras värdefulla synpunkter på rapportens innehåll. Slutligen ett stort tack till SBUF som finansierat projektet.

Göteborg den 8 april 2003

Kristina Norling Mjörnell

White arkitekter AB, miljö

Sammanfattning

Självkompakterande betong har använts i ett antal projekt där man har sett tendenser till en snabbare uttorkning än hos den konventionella betongen men man har inte kunnat förklara varför. Det fanns därför ett behov att öka kunskapen om uttorkning av byggfukt i självkompakterande betong.

Syftet med projektet var dels att undersöka uttorkning av byggfukt i självkompakterande betong, dels att utvärdera de materialegenskaper hos den självkompakterande betongen som påverkar uttorkningen. Syftet var också att undersöka om man kan använda beräkningsprogrammet TorkaS 2.0 som är framtagen för konventionell betong utan fillertillsats, för att bedöma uttorkningstiden för självkompakterande betong med fillertillsats.

Resultaten från studien visar att de för torktiden avgörande faktorerna är precis som för konventionell betong: vattencementtalet och de tidiga lagringsförhållandena. Mätningar visar dessutom att uttorkningstiden generellt är kortare för självkompakterande betong än för konventionell betong. I självkompakterande betong har både typen filler och mängden filler en effekt på torktiden. Torktiden kan reduceras med upp till 40-50 % för en självkompakterande betong med tillsats av en viss typ av filler. För filler av en annan typ är reduceringen betydligt mindre och t o m obetydlig om betongen varit utsatt för vatten i tidigt skede. Finns det osäkerhet om vilken typ och mängd filler som används kan uttorkningstiden antas vara lika lång som för konventionell betong.

Innehåll

1 BAKGRUND 5

2 SYFTE 5

3 GENOMFÖRANDE 6

4 MATERIAL 7

4.1 BETONGSAMMANSÄTTNINGAR 7
4.2 INGÅENDE MATERIAL 7
4.2.1 Ballast 7
4.2.2 Cement 7
4.2.3 Kalkstensfiller 7
4.2.4 Flyttillsats 8
4.3 GJUTNING 8

5 GENERELLA MÄTMETODER 8

5.1 RELATIV FUKTIGHET 8
5.1.1 Mätmetod 8
5.1.2 Mätosäkerhet 8
5.2 VÄGNING 9
5.2.1 Mätmetod 9
5.2.2 Mätosäkerhet 9

6 UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR 9

6.1 TRYCKHÅLLFASTHET 9
6.2 UPPFUKTNINGS- OCH UTTORKNINGSFÖRLOPP 9
6.2.1 Tillverkning av provkroppar 9
6.2.2 Lagringsförhållanden 10
6.2.3 Fuktprofiler 11
6.2.4 Uppfuktnings- och uttorkningsförlopp 11
6.2.5 Kommentar till mätning av relativ fuktighet 12
6.2.6 Mängd upptaget och avgivet vatten 13
6.2.7 Kommentar till resultaten 14
6.3 FUKTTRANSPORTEGENSKAPER 14
6.3.1 Tillverkning av provkroppar 14
6.3.2 Utvärdering av fukttransportkoefficienter 15
6.3.3 Resultat 15
6.3.4 Kommentar till resultaten 15
6.4 FUKTBINDNINGSEGENSKAPER 16
6.4.1 Tillverkning av provkroppar 16
6.4.2 Lagringsförhållanden 16
6.4.3 Utvärdering av fuktbindningsegenskaper 16
6.4.4 Resultat 16
6.4.5 Kommentar till resultaten 16

7 FÄLTFÖRSÖK 17

8 UTTORKNINGSBERÄKNINGAR 18

9 FÖRSLAG TILL FÖRENKLAD UTTORKNINGSPROGNOS 19

10 ANDRA BETYDANDE EGENSKAPER 21

10.1 BRANDTÅLIGHETEN 21
10.2 FÖRMÅGA TA UPP LIMFUKT 21

11 KONKLUSION 21

12 REFERENSER 23

BILAGOR NR. 1-4

1 Bakgrund

Självkompakterande betong behöver inte vibreras utan beter sig som en vätska i formen vilket ger direkta produktionsvinster och möjliggör nya produktionstekniska lösningar. Det kanske viktigaste skälet att använda självkompakterande betong är dock för att förbättra arbetsmiljön. Buller och skador orsakade av vibrering samt tunga lyft minskas i väsentlig grad. Med bibehållen homogenitet har den förmågan att fylla ut en form och omsluta armering enbart genom inverkan av gravitationskraften. Tidigare användes också benämningen vibreringsfri betong. Självkompakterande betong används som konstruktionsmaterial, armerad, spännarmerad eller fiberarmerad men också för utfyllnader och andra enklare tillämpningar. I hårdnat tillstånd kan den uppnå prestanda liknande eller högre än konventionell betong. Även högpresterande betong kan utföras med självkompakterande egenskaper, *referens 1.*

I ett Brite-EuRam projekt, där NCC är en av de medverkande parterna, har olika typer av självkompakterande betong utvecklats. Vid utvecklingen av den självkompakterande betongen har man fokuserat på betongens egenskaper i färskt och hårdnande tillstånd. I fullskaleförsöken har den självkompakterande betongen gjutits både i anläggnings- och husbyggnadsprojekt. Erfarenheterna från projektet att använda den självkompakterande betongen i fullskaleförsök är goda. Exempelvis förbättras arbetsmiljön eftersom man inte använder vibreringsutrustning. I några mindre försök inom Brite-EuRam projektet har fuktmätningar utförts i den självkompakterande betongen. Enligt dessa försök verkar uttorkningen ske snabbare jämfört med en konventionell betong.

En viktig faktor vid byggandet av hus är innehållet av byggfukt i betongbjälklagen vid tidpunkten för mattläggning eftersom risken för skada ökar med ökande fuktinnehåll. Dagens korta byggtider kräver snabb uttorkning om betongen skall beläggas med fuktkänsliga ytskikt. Det är också vanligt att man använder kvarsittande form i bjälklag som inte tillåter någon uttorkning nedåt. När en tät golvbeläggning appliceras på betongen stängs byggfukten inne. Ett sätt att förkorta torktiden är att använda en sk "byggfuktfri betong" eller "snabbtorkande betong" som innehåller mindre mängd vatten i förhållande till bindmedelsmängden än konventionell betong. Problemet med en sådan betong är att den är svårhanterlig och kräver en större arbetsinsats är konventionell betong. Det skulle därför vara optimalt att göra en "byggfuktfri betong" självkompakterande. För att kunna använda självtorkande betong i bjälklag som skall beläggas med fuktkänsliga material behövs kunskap om uttorkning av byggfukt och fuktbindningsegenskaper i självkompakterande betong .

Idag används bl a "Lathund för betongtorkning", bilaga 4, utgiven av SBUF eller datorprogrammet TorkaS 2.0, *referens 2*, utvecklat av Fuktgruppen i Lund, för bedömningar av torkförloppet i betong. Dessa hjälpmedel baseras på mätningar i konventionell betong utförda vid Lunds tekniska högskola och vid Chalmers tekniska högskola. För att kunna göra liknande bedömningar av torkförloppet i självkompakterande betong måste både fuktmätningar och mätning och utvärderingar av fukttransport- och fuktbindningsegenskaper göras för olika sammansättningar av självkompakterande betong.

2 Syfte

Syftet med projektet är dels att undersöka uttorkning av byggfukt i självkompakterande betong samt att utvärdera de materialegenskaper hos den självkompakterande betongen som påverkar torktiden. Syftet är också att undersöka om man kan använda TorkaS 2.0 som är framtagen för konventionell betong utan fillertillsats, för att bedöma uttorkningstiden för självkompakterande betong med fillertillsats.

3 Genomförande

NCC har fått medel från SBUF för att undersöka uttorkningsförloppet hos självkompakterande betong jämfört med konventionell betong. Projektet har genomförts i samarbete med Institutionen för byggnadsmaterial på Chalmers Tekniska Högskola, där laboratoriemätningarna har utförts. Linlab inom NCC Roads AB har designat betongsammansättningarna till laboratorieförsöken och utfört fältmätningar.

Omfattning

- Mätning av relativ fuktighet och mängd upptaget och avgivet vatten i fem olika sammansättningar av självkompakterande betong och två sammansättningar av konventionell betong på laboratorium.
- Mätning och utvärdering av fukttransportegenskaper och fuktbindningsegenskaper i självkompakterande och konventionell betong på laboratorium.
- Mätning av relativ fuktighet i två sammansättningar av självkompakterande betong i fält.
- Jämförelse mellan resultat från laboratoriemätningarna och beräkningar utförda med datorprogrammet TorkaS 2.0, som används för att bedöma uttorkningstiden hos betongkonstruktioner.

Tidsplan

Projektet startade i september 2000.
Betongen göts och försöken på laboratorium startade i juni 2001.
Fuktmätningar och vägningar utfördes juni 2001 - september 2002.
Fältförsök utfördes under september - november 2002.
Rapportering och slutredovisning utfördes under november - januari 2002.

Organisation

Arbetsgruppen bestod av: Juhan Aavik, Institutionen för byggnadsmaterial vid Chalmers Tekniska Högskola, Mari Karlsson från NCC Roads AB, Helene Wengholt Johnsson, Sundolitt AB (inledande som projektledare) samt Kristina Norling Mjörnell från White arkitekter AB som projektledare.

Referensgruppen bestod av: Lars Söderlind, Lars Söderlind Konsult HB, Lars-Olof Nilsson, Institutionen för byggnadsmaterial, CTH, Ted Rapp, Sveriges Byggindustrier, Göran Hedenblad, Institutionen för byggnadsmaterial, LTH, (tjänstledig).

Redovisning

Projektet dokumenteras i denna projektrapport och kommer att sammanfattas i ett informationsblad från SBUF. Dessutom har en artikel med titeln " Självkompakterande betong kan ge både bättre arbetsmiljö och kortare torktid" publicerats i branschtidningen Bygg&Teknik nr 7, 2002.

Finansiering

Huvuddelen av finansiering har skett genom SBUF därtill har NCC Construction Sverige AB och NCC Roads AB bidragit med finansiering.

4 Material

4.1 Betongsammansättningar

Följande betongsammansättningar har ingått i projektet:

Tabell 1. Betongsammansättningar som ingått i projektet betecknas fortsättningsvis 1-7. Mängder i kg/m³. SKB = självkompakterande betong, KB = konventionell betong.

Sammansättning	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Betongtyp	SKB	SKB				KB	
Vattencementtal	0,38	0,59				0,38	0,6
Cement	400	320	320	320	320	400	320
vfct*	0,279	0,48	0,4	0,48	0,4		
Filler: Limus 40	150	75	150				
Filler: Limus 15				75	150		
Ballast: 0-8 mm	940 +47**	962 +48**	930 +46,5**	962 +48**	930 +46,5**	1015 +51**	1000 +50**
Ballast: 8-16 mm	743	767	730	767	730	805	800
Tillsatsmedel: Glennium	4,4+5**	2,4	2,56 +0,57***	2,4 -0,37***	2,72 -0,3***	6	1,28 -0,53***
Vatten	153,5 -47**	190 -48**	190 -46,5**	190 -48**	190 -46,5**	153,5 -51**	191 -50**
Densitet (kg/m³)	2391	2316	2323	2316	2323	2380	2312
Utbredningsmått / sättmått (cm)	70×75	63×66	64×64	57×61	64×61	24	20,5

*vfct=(vikt vatten / (vikt filler + vikt cement))
**Mängd sand som tillsattes ytterligare eller vatten som inte tillsattes för att kompensera för att sanden var fuktig.
***Mängd Glennium som tillsattes eller inte tillsattes under blandning.

4.2 Ingående material

4.2.1 Ballast

Grus med storleken 0-8 mm. I gruset uppmättes fuktkvoten genom att en mängd sand vägdes våt, torkades i 105°C och därefter vägdes torr. Fuktkvoten beräknades, som mängden vatten som avgått vid torkning delat med vikten torrt material, till 5 %. Som grövre ballast användes krossad makadam med storleken 8-16 mm.

4.2.2 Cement

Den cementtyp som användes var Byggcement från Skövde.

4.2.3 Kalkstensfiller

Två typer av kalkstensfiller användes. Den ena var Limus 40 och den andra var Limus 15. Fillertyperna skiljer sig något vad beträffar kemisk sammansättning och specifik yta.

Tabell 2. Kemisk analys av fillermaterialet, %.

Filler	**CaO**	**Ca**	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**MgO**	**K_2O**	**Na_2O**	**S**	**P**	**Glöd-förlust**
Limus 15	49,3	35,2	8,8	0,66	0,25	0,45	0,33	0,11	0,01	0,05	39,3
Limus 40	50,0	35,8	4,6	0,98	0,98	1,79	0,24	0,11	0,01	0,006	40,3

Tabell 3. Övriga materialegenskaper hos fillermaterialen.

Filler	Kornstorlek mm	Fukt %	Densitet, g/cm^3	Skrymden-sitet, ton/m^3	Oljetal g/100 g	Specifik yta Blaine, m^2/kg
Limus 15	0-0,2 mm	0,1	2,7	1,1	17	556
Limus 40	0-0,5 mm	0,1	2,8	1,0	16	655

4.2.4 Flyttillsats

Som flyttillsats användes Glennium 51.

4.3 Gjutning

Betongen blandades i frifallsblandare. Sten och sand blandades torrt. Cement och filler tillsattes och blandades torrt. Därefter tillsattes vatten och del av flyttillsatsen. Resterande flyttillsats tillsattes efter behov för att uppnå erforderlig konsistens. För de självkompakterande blandningarna mättes utbredningsmåttet. För de konventionella blandningarna mättes sättmått, se tabell 1.

Foto 1. Betongen blandades i frifallsblandare.

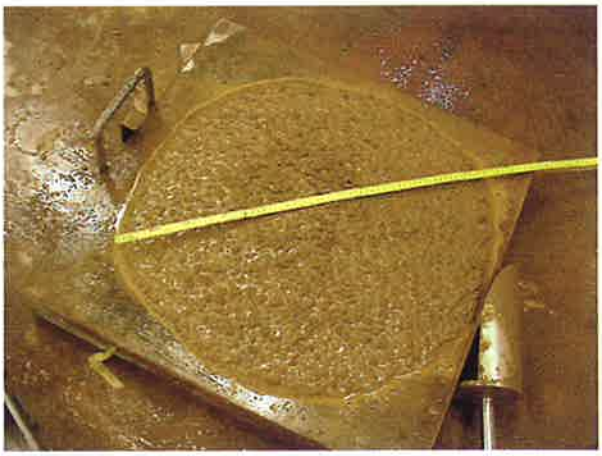


Foto 2. Mätning av utbredningsmåttet.

5 Generella mätmetoder

5.1 Relativ fuktighet

5.1.1 Mätmetod

Mätning av relativa fuktighet i betong har gjorts i ingjutna rör med mätsystemet Humi-Guard. Humi-Guard givaren är en kvarsittande engångsgivare där konduktansen mäts mellan två elektroder inlagda i en fiberväv. Fiberväven impregneras med en hygroskopisk elektrolyt som tar upp eller avger vatten så att denna står i jämvikt med relativa fuktigheten i borrhålet. Givare med mätintervall mellan 98 och 75 % RF har använts. Givarna får inte utsättas för en relativ fuktighet lägre än 75 % eller högre än 94 % under längre tid. Om så varit fallet har givaren bytts ut. Fuktgivarna placeras i rören ca fyra dygn efter gjutning.

5.1.2 Mätosäkerhet

Mätosäkerheten för mätmetoden har beräknats enligt RBK´s rutin för beräkning av mätosäkerhet i RF-mätning med Humi-Guard, se bilaga 1. Mätosäkerheten för mätmetoden är ±2,1 % med täckningsfaktor 2 som innebär ett konfidensintervall på 95 %. Relativa fuktigheten har mätts i två identiska provplattor och resultatet redovisas som medelvärdet av två mätningar. Osäkerheten för medelvärdet beräknas som 2,1%/√2 vilket blir 1,5 %.

5.2 Vägning

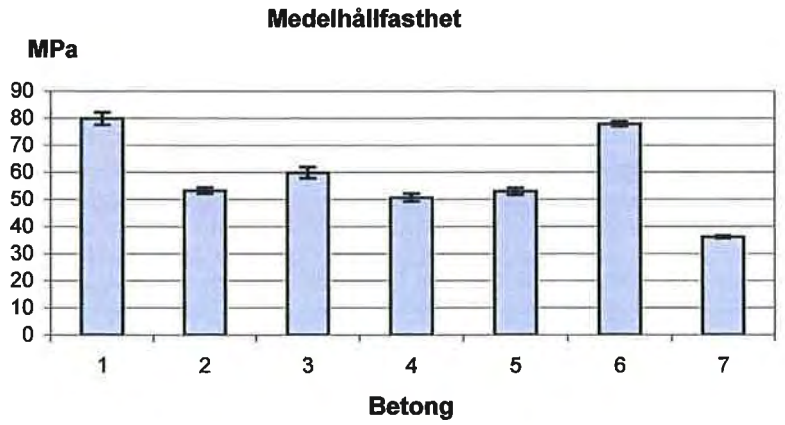
5.2.1 Mätmetod
Två vågar med olika mätintervall och mätnoggrannhet användes för de olika vägningarna. Den större användes vid bestämning av mängden upptaget och avgivet vatten i provplattor vid bestämning av densitet hos kuber och den mindre för vägning av skivor för bestämning av fuktbindnings- och fukttransportegenskaper.

5.2.2 Mätosäkerhet
Den stora vågen med maximal vikt på 30 kg anger vikten med en noggrannhet på 0,1 g. Den lilla vågen anger vikten med en noggrannhet på 0,001 g för vikter under 8 g och 0,01 gram för vikter över 8 g.

6 Utförda undersökningar

6.1 Tryckhållfasthet
För betongsammansättning nr 1-6 göts sex stycken kuber för hållfasthetsprovning. Kuberna hade volymen 10×10×10 cm^3. För betongsammansättning nr 7 användes tre kuber med volymen 10×10×10 cm^3 och tre kuber med volymen 15×15×15 cm^3 p g a att antalet små kubformer var begränsat. Hållfasthetsprovningen utfördes 29 dygn efter gjutning. Kuberna avformades, vägdes och höjden mättes innan de provtrycktes.

Resultaten från tryckprovningen redovisas som medelvärdet av hållfastheten hos sex stycken kuber. Dessutom redovisas standardavvikelsen.



Figur 1. Medelhållfastheten 29 dygn efter gjutning redovisat som medelvärden och standardavvikelser för sex kuber av varje betongsammansättning.

6.2 Uppfuktnings- och uttorkningsförlopp

6.2.1 Tillverkning av provkroppar
Till uttorkningsförsöken göts betongen i cylinderformade plåtformar med diametern 20 cm och höjden 100 mm. Den konventionella betongen vibrerades i formen på ett vibrobord. Ytan planades av med en murarslev och överytan täcktes med plastfolie direkt efter gjutning. I formen finns rör monterade avsedda för Humi-Guard givare. Öppningen på rören mynnar 15, 40 respektive 85 mm under betongens överyta. Givarna monterades underifrån fyra dagar

efter gjutning. Vid gjutning täcktes rörens öppning med diffusionsöppen tejp för att förhindra betong att tränga ned i röret. Den nedre öppningen försågs med en gummipropp.

Foto 3. Färdiga provkroppar härdas i konstant klimat.

Foto 4. Provkropp härdad i vattenbad.

6.2.2 Lagringsförhållanden

Provkropparna vägdes efter gjutning. Därefter täcktes betongytan med plastfolie för att membranhärdas i ett dygn. Efter ett dygn avlägsnades plastfolien och provkroppen vägdes innan uttorkningen startade. Därefter placerades provkropparna i något av de tre klimaten; konstant temperatur 20°C och relativ fuktighet 50 % RF (betecknad K), vattenlagring under 28 dygn och därefter konstant temperatur 20°C och relativ fuktighet 50 % RF (betecknad V) eller självuttorkning som innebär att alla ytor tätas direkt efter gjutning (betecknad S). RF-givare av typ Humi-Guard monteras i mätrören 4 dygn efter gjutning. Efter det att givarna är monterade vägs provkroppen igen för att få en vikt med givare. RF-givarna lästes av 7, 14, 28, 90, 180 och 365 dygn efter gjutning.

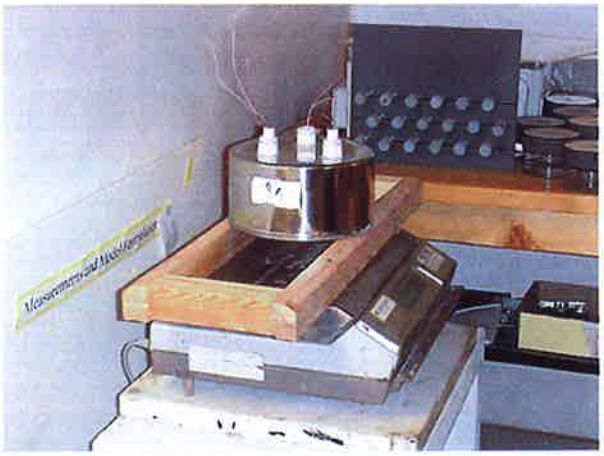
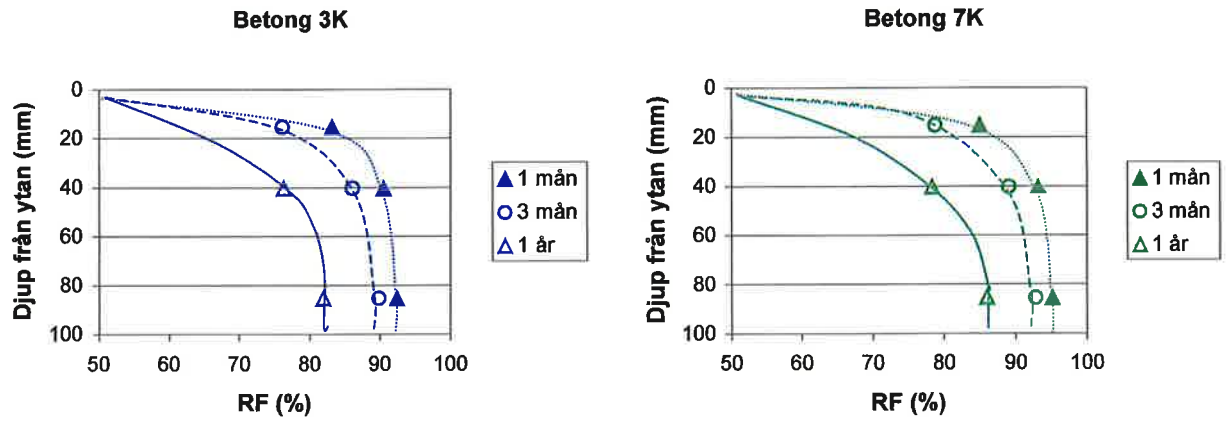


Foto 5. Vägning av provkropp.

Foto 6. Avläsning av relativa fuktigheten.

6.2.3 *Fuktprofiler*

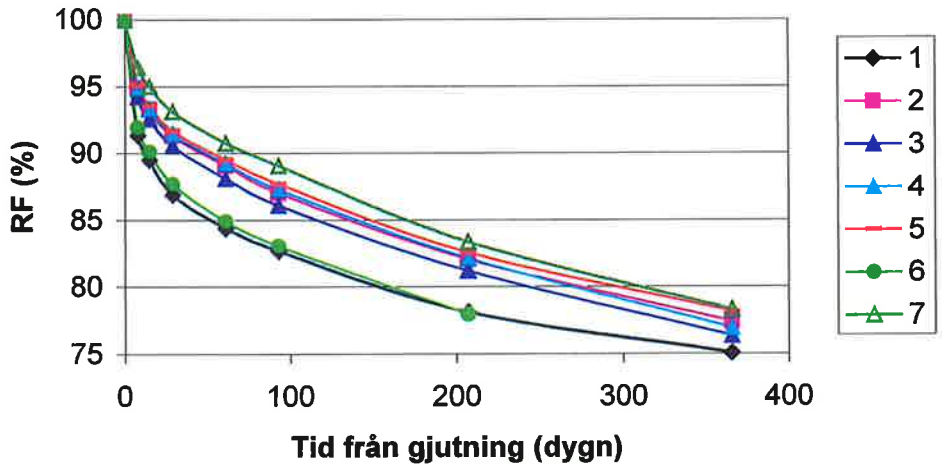
Resultaten redovisas som relativ fuktighet på olika djup vid olika tidpunkter för respektive betongsammansättning och lagringsförhållande. Nedan visas två exempel på fuktprofiler, d v s uppmätt relativ fuktighet på olika djup i betongplattor som fått torka ut ensidigt. Resultat för samtliga betongsammansättningar och lagringsförhållanden finns redovisade i bilaga 2.



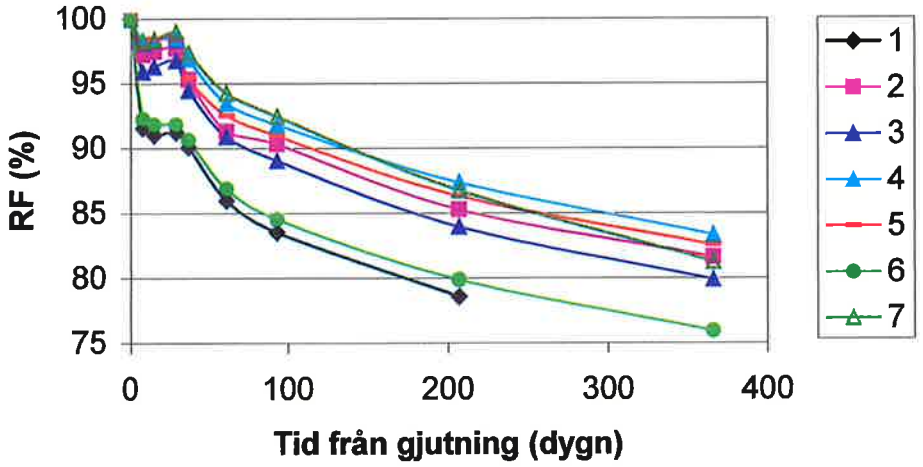
Figur 2a och b. Uppmätta relativa fuktigheter (RF) på djupet 15, 40 samt 85 mm från överytan i självkompakterande betong med vct=0,59 (Betong 3K) och i konventionell betong med vct=0,60 (Betong 7K) som lagrats i konstant klimat. Mätosäkerhet ±1,5 % RF.

6.2.4 *Uppfuktnings- och uttorkningsförlopp*

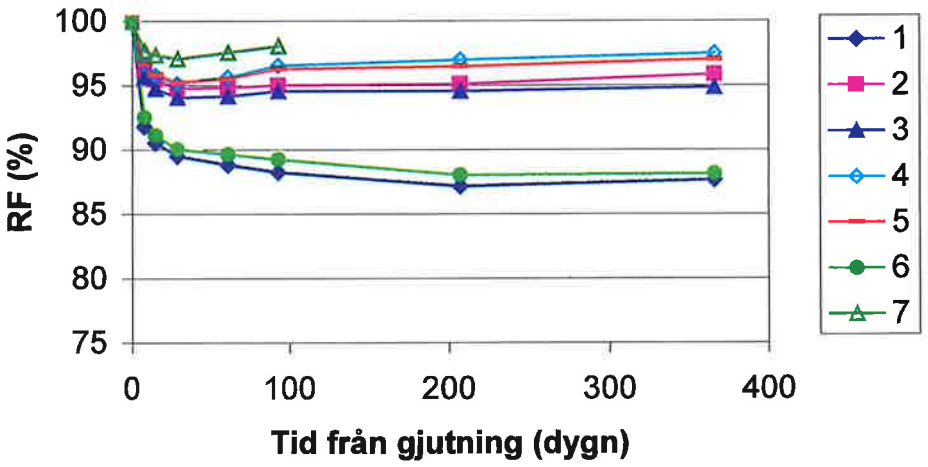
Nedan visas uppmätt relativ fuktighet på djupet 40 mm från ytan olika tid efter gjutning.



Figur 3. Uttorkningsförlopp för betong nr 1-7 lagrad i konstant klimat 20 °C och 50 % RF. Mätosäkerhet ±1,5 % RF.



Figur 4. Uppfuktnings- och uttorkningsförlopp för betong nr 1-7 lagrade med ytan i vatten och därefter i konstant klimat 20 °C och 50 % RF. Mätosäkerhet ±1,5 % RF.



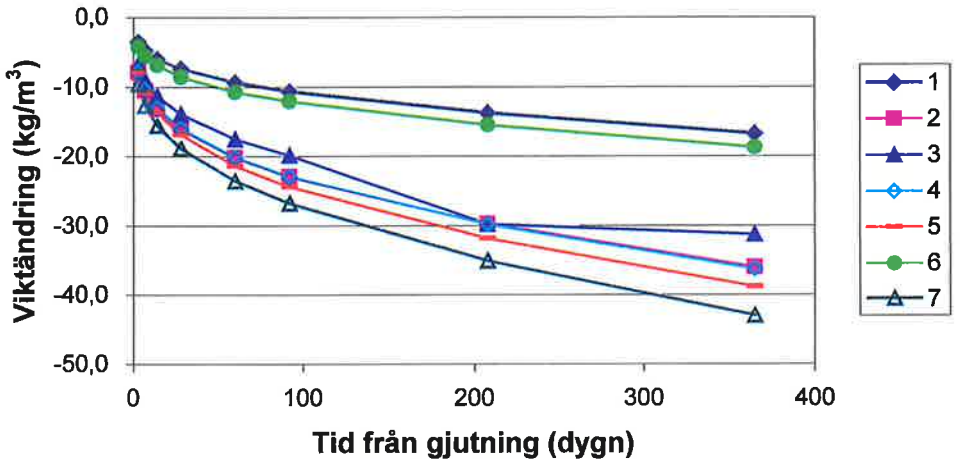
Figur 5. Självuttorkningsförlopp för betong nr 1-7 lagrade helt slutet från gjutning. Mätosäkerhet ±1,5 % RF.

6.2.5 Kommentar till mätning av relativ fuktighet

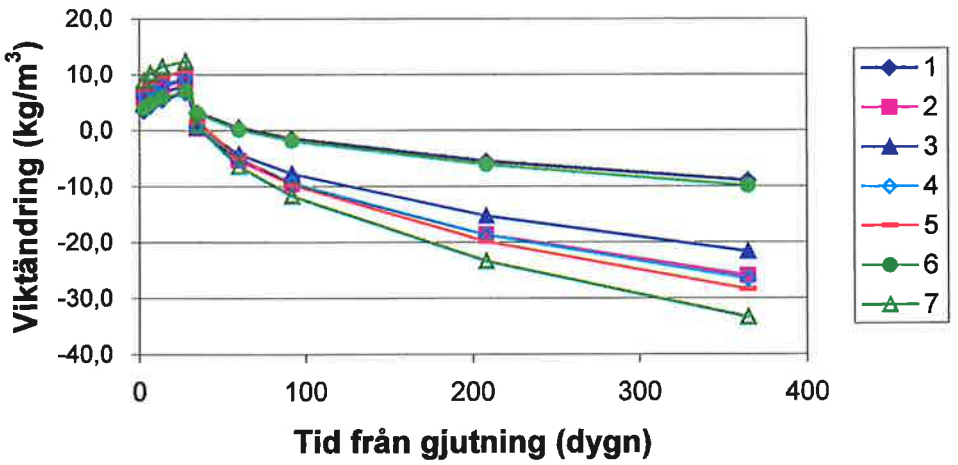
Observera att mätvärden under 75 % RF inte redovisas eftersom mätintervallet för den använda mätmetoden endast går ned till 75 %. Det finns en risk att Humi-Guardgivarna ger ett felaktigt mätvärde om de utsätts för relativa fuktigheter mellan 95-98 % mer än en vecka. Detta kan gälla mätningar gjorda på 15 och 40 mm djup i vattenlagrade provkroppar.

6.2.6 *Mängd upptaget och avgivet vatten*

Provkropparna vägdes i samband med avläsning av relativa fuktigheten för att bestämma mängden insuget respektive avgivet vatten. De vattenlagrade provkropparna vägdes före och efter vattenlagring. Mängden upptaget respektive avgivet vatten redovisas i diagrammen som mängd vatten per volymsenhet betong.

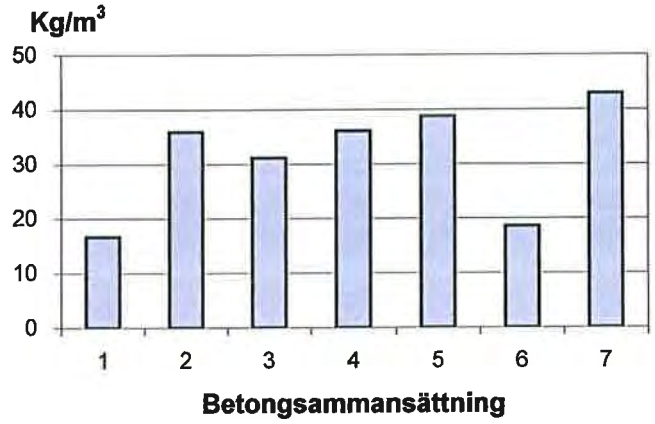


Figur 6. Mängd avgivet vatten redovisat som kg vatten per m^3 betong.

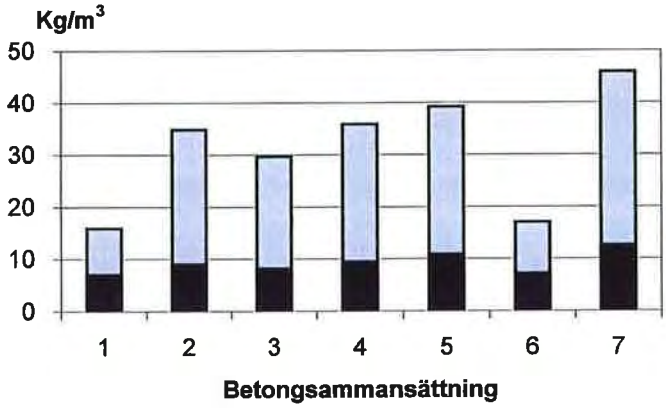


Figur 7. Mängd upptaget respektive avgivet vatten för betongsammansättning nr 1-7 redovisat som kg vatten per m^3 betong.

För att åskådliggöra skillnaden i vattenupptagningsförmåga mellan de olika betongsammansättningarna har den totala mängden upptaget vatten respektive avgivet vatten beräknats för det olika betongsammansättningarna.



Figur 8. Total mängd avgivet vatten under ett års lagring vid konstant klimat, 20 °C och 50 % RF.



Figur 9. Den svarta delen av stapeln representerar den totala mängden upptaget vatten efter en månads lagring i vatten. Hela stapelns höjd representerar den totala mängden vatten som avgått under 11 månaders lagring vid konstant klimat, 20 °C och 50 % RF.

6.2.7 Kommentar till resultaten

Den konventionella betongen med vct=0,6 (betongsammansättning nr 7) tar upp den största mängden vatten medan de självkompakterande betongsammansättningarna nr 2-5 med vct=0,59 tar upp betydligt mindre mängder. Speciellt gäller detta betongsammansättning 3 med hög halt av fillern Limus 40. Fuktupptagning och fuktavgivning för konventionell och självkompakterande betong med vct=0,38 är betydligt mindre och relativt lika.

6.3 Fukttransportegenskaper

6.3.1 Tillverkning av provkroppar

För bestämning av fukttransportegenskaper göts betongsammansättning 1-7 enligt tabell 1 i cylinderformar med diametern 100 mm. Betongen härdades tillslutet under ca ett år vid konstant temperatur 20°C. Därefter sågades skivor med tjockleken ca 3 cm ur cylindern. Skivorna monterades på koppar innehållande mättade saltlösningar som håller 75 % och 95 % RF. Dessutom gjordes en omvänd kopp med rent vatten som håller 100 % RF. För varje

betongsammansättning tillverkades två identiska koppar. Kopparna förvarades vid konstant temperatur på 20°C och en relativ fuktighet på 50 %.

6.3.2 Utvärdering av fukttransportkoefficienter

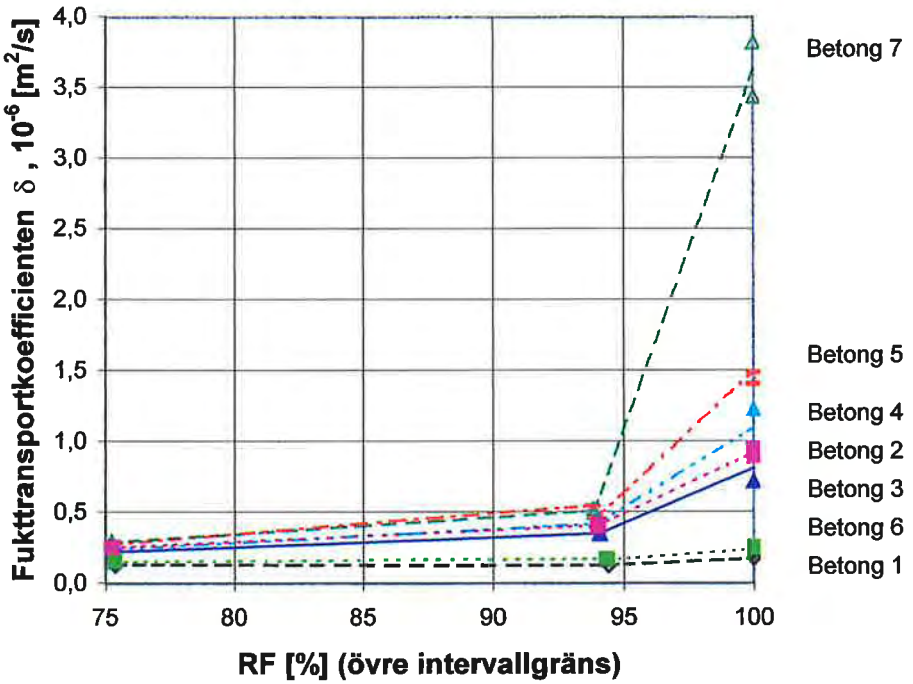
Kopparna vägdes efter 1, 2 och 6 månader. Utifrån viktändringarna bestämdes ett fuktflöde genom skivan. När flödet är konstant kan fukttransportkoefficienten utvärderas som:

$$\delta_c = q \cdot d / (c_m(20°C) \cdot (RF_1 - RF_2))$$

där q är det stationära fuktflödet genom skivan, d är skivans tjocklek, $c_m(20°C)$ är mättnadsånghalten vid 20°C, RF_1 är relativa fuktigheten i koppen och RF_2 är relativa fuktigheten utanför koppen som är 50 % RF.

6.3.3 Resultat

Resultaten redovisas som fukttransportkoefficienten, δ_c för de olika betongsammansättningarna. Fukttransportkoefficienterna representerar ett medelvärde för relativa fuktigheter i intervallen 50 % till 75,1 %, 50 % till 94,6 % samt 50 % till100 % RF beroende på vilka relativa fuktigheter som rått på respektive sida om skivan. I diagrammet redovisas fukttransportkoefficienterna vid den övre relativa fuktigheten i intervallet, d v s vid 75,1, 94,6 och 100 %. Markeringarna är de utvärderade diffusionskoefficienterna för varje enskilt prov och de streckade linjerna representerar medelvärdet från två identiska prov.



Figur 10. Fukttransportkoefficienter för betongsammansättning 1-7 redovisade vid den högsta relativa fuktigheten i försöksintervallet.

6.3.4 Kommentar till resultaten

Resultaten visar att vattencementtalet har stor betydelse för fukttransportegenskaperna. Den konventionella betongen med vct=0,6 har en avsevärt högre fukttransportkoefficient än de självkompakterande betongerna vilket tyder på att dessa är betydligt tätare. Bland de självkompakterande betongerna har betong 3 den lägsta fukttransporthastigheten vilket även stämmer överens med resultaten från mätning av mängd upptaget respektive avgivet vatten, figur 8 och 9.

6.4 Fuktbindningsegenskaper

6.4.1 Tillverkning av provkroppar

För bestämning av fuktbindningsegenskaperna göts betong i cylinderformar med diametern 100 mm. Provkropparna härdades tillslutet (membranhärdades) i ca 90 dygn. Därefter sågades tunna skivor (maximalt 5 mm) ut från cylindern.

6.4.2 Lagringsförhållanden

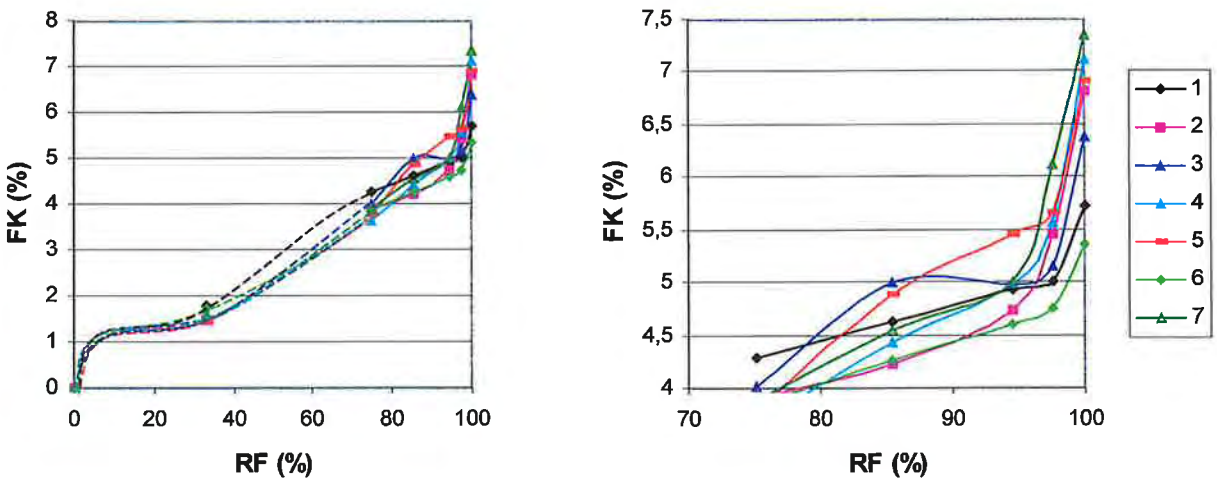
Skivorna placerades i boxar innehållande mättade saltlösningar som håller relativa fuktigheterna 33 %, 75,1 %, 85,5 %, 94,6 % och 97,6 %. En skiva från varje betongsammansättning lagrades i vatten (100 %). Provbitarna vägdes efter 3 och 9 månader. Därefter vägdes provbitarna två gånger med två veckors mellanrum. Då viktändringen var mycket liten (0,01 g) avbröts försöket. Skivorna togs ut ur boxarna och torkades i ugn vid ca 105 °C. Efter torkning vägdes skivorna för att bestämma den torra vikten.

6.4.3 Utvärdering av fuktbindningsegenskaper

Fuktkvoten bestämdes som vikten av det förångningsbara vattnet som avgår vid torkning vid 105 °C dividerat med provets torra vikt.

6.4.4 Resultat

Resultatet redovisas som fuktkvoten i de olika betongsammansättningarna som lagrats vid olika relativa fuktighet. Resultaten finns även redovisade för varje betongsammansättning för sig i bilaga 3.



Figur 11a och b. Fuktkvot vid olika relativa fuktigheter för betongsammansättningarna 1-7. Den högra figuren är en förstoring av det översta området i den vänstra figuren.

6.4.5 Kommentar till resultaten

Resultaten visar att de självkompakterande betongerna nr 3 och 5 innehåller mer fukt vid relativa fuktigheter lägre än 97,6 % än konventionell betong med motsvarande vct. Dessa betonger har en hög fillerhalt och fuktbindningskurvan får en puckel i intervallet 75,1 till 97,6 %. Detta utseende är typiskt för betong med stor andel små porer. Konsekvensen av detta är att RF sjunker snabbare i en självkompakterande betong med hög fillerhalt än i en konventionell betong med samma vct trots att betongerna innehåller lika mycket vatten. Uttorkningstiden, d v s tiden det tar för att komma ned under en kritisk RF nivå blir därmed kortare.

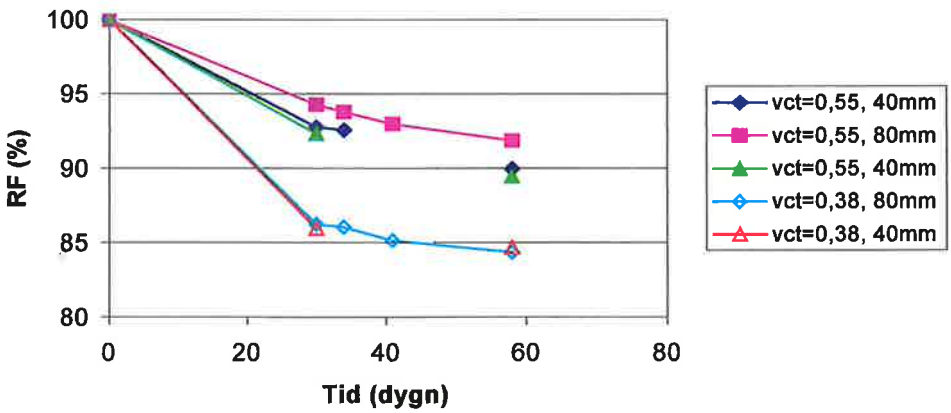
7 Fältförsök

NCC Roads AB har under senaste året levererat självtorkande självkompakterande betong till ett antal projekt. Ett exempel är ombyggnad av Linköpings Universitet där man har gjutit vissa mellanbjälklag med självtorkande självkompakterande betong. Entreprenörerna Åhlin & Ekroth i Linköping valde en självkompakterande betong med ett vct på 0,38. Enligt platschefen Thomas Prantner hade de inte något annat alternativ, eftersom han skulle lägga matta redan sju veckor efter det att betongen gjutits. Konstruktionen är ett 100 mm tjockt mellanbjälklag med kvarsittande plåtform som torkar ensidigt. Om man hade gjutit med den föreskrivna betongkvaliteten skulle de tagit ca ett år innan för betongen att torka ut så att en tät matta kan limmas på betongbjälklagen.

Foto 7. Gjutning av självkompakterande betong.

Foto 8. Efterbehandling av ytan.

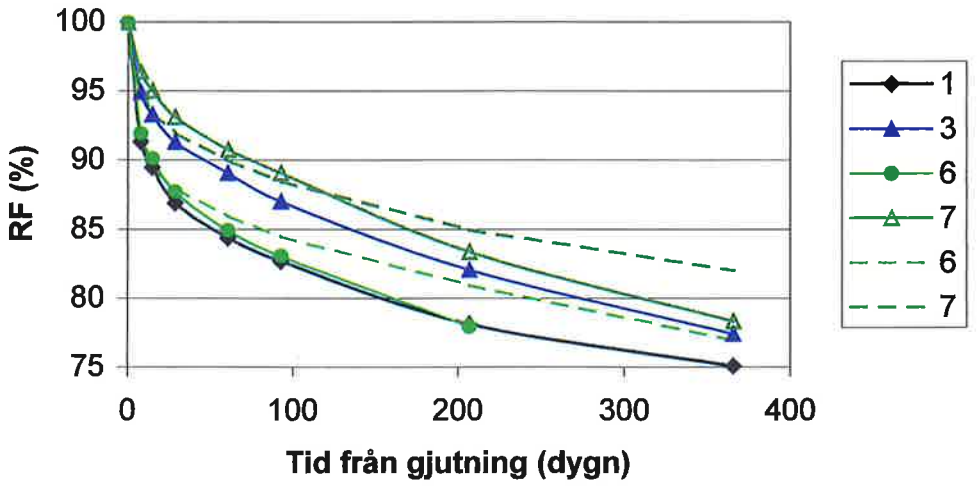
Under uttorkningsfasen har fuktmätningar utförts i borrhål med mätsystemet Humi-Guard av en RBK-aukoriserad fuktkontrollant, figur 12. Resultaten visar att relativa fuktigheten på normenligt mätdjup (40 mm från ytan) har torkat ned till 85 % efter 6 veckor i den självkompakterande betongen med vct=0,38 medan den självkompakterande betongen med vct=0,55 fortfarande har en relativ fuktighet på ca 92 % efter samma tid. Temperaturen vid de olika mättillfällena varierade mellan 16 och 18°C. Alla mätvärdena är dock korrigerade för mätning vid annan temperatur än 20°C. Relativa fuktigheten har dessutom en mätosäkerheten på ±1,8 % RF (k=2).



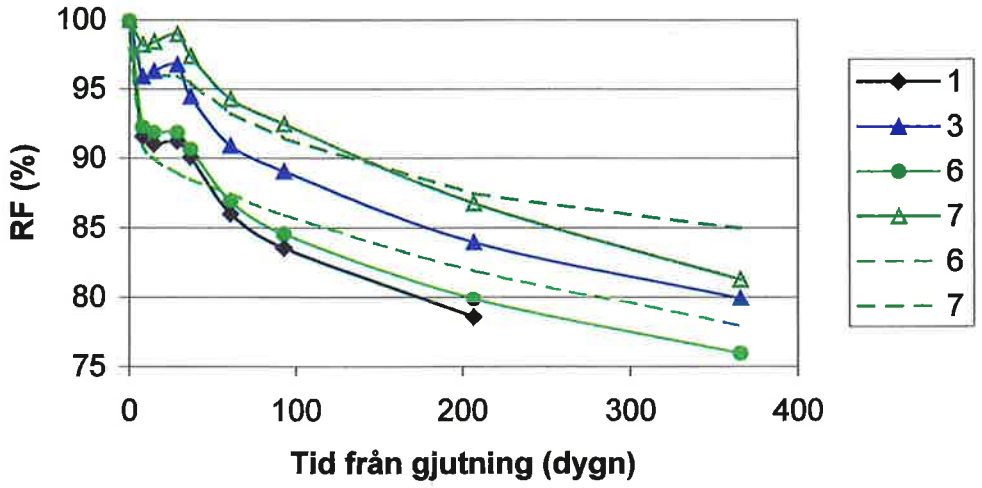
Figur 12. Relativa fuktigheten mätt i olika betongsammansättningar och på olika mätdjup. Mätosäkerheten är ±1,8 % RF.

8 Uttorkningsberäkningar

Som en jämförelse har torktider beräknats för betongsammansättningarna 6 och 7 och härdningsförhållanden motsvarande de i projektet. Eftersom man ännu inte kan hantera effekten av filler i TorkaS 2.0 har inga beräkningar kunnat utföras för de självkompakterande betongsammansättningarna. Resultaten visar att TorkaS 2.0 kan användas för självkompakterande betong med ett lågt vct som 0,38 där skillnaden i torkförlopp inte skiljer sig märkbart mot konventionell betong, men för självkompakterande betong med ett vattencementtal på 0,59 och tillsats av kalkstensfiller reduceras torktiden i olika hög grad. Dock skulle man kunna säga att man torde vara på säkra sidan om man utför uttorkningsberäkningen för konventionell betong men använder självkompakterande betong.



Figur 13. Uttorkningsförlopp för prover härdade i konstant klimat vid 50 % RF och 20 °C jämfört med uttorkningsförlopp beräknade med TorkaS 2.0 (streckade).



Figur 14. Uttorkningsförlopp för prover härdade i vatten under fyra veckor och därefter i konstant klimat vid 20 °C och 50 % RF jämfört med uttorkningsförlopp beräknade med TorkaS 2.0 (streckade).

9 Förslag till förenklad uttorkningsprognos

Lathund för uttorkning för betong, utgiven av SBUF är ett enkelt verktyg som finns tillgängligt för prognoser av uttorkningstider för olika betongkvaliteter som härdar vid olika yttre förutsättningar. Ett försök har gjorts att utifrån denna lathund finna faktorer som gäller för olika sammansättningar av självkompakterande betong. Som utgångspunkt gjordes en jämförelse mellan torktiden som uppskattats från uttorkningskurvorna uppmätta inom projektet, se figur 3 och 4 med torktiden beräknad enligt SBUFs lathund, se bilaga 4, samt torktiden uppskattad från uttorkningsberäkningar utförda med TorkaS 2.0, se figur 13 och 14. Resultaten visas i tabell 4.

Tabell 4. Uppskattade torktider för att nå 90 % eller 85 % RF på normenligt mätdjup för betongsammansättning 1-7.

	Klimat K, RF=90 %			Klimat K, RF=85 %			Klimat V, RF=90 %			Klimat V, RF=85 %		
Btg	M	S	T	M	S	T	M	S	T	M	S	T
1	13			53			38			74		
2	47			140			102			220		
3	37			120			78			184		
4	50			145			143			302		
5	52			155			118			263		
6	15	14	15	61	34	93	42	44	15	87	64	120
7	75	29	61	175	60	207	143	105	140	260	185	366

Förklaring:
Klimat K = konstant klimat 20 °C, 50 % RF
Klimat V = Fyra veckors vattenhärdning följt av konstant klimat 20 °C, 50 % RF
Btg = Betongsammansättning
M = Torktid utvärderad ur uppmätta uttorkningskurvor
S = Torktid beräknad enligt SBUFs lathund
T = Torktid utvärderad ur uttorkningskurvor beräknade med TorkaS 2.0

Sammanställningen visar att torktiderna för konventionell betong med vct=0,60 som beräknats med SBUFs lathund är avsevärt kortare än de som utvärderats från mätningarna i projektet eller de som utvärderats från uttorkningskurvor beräknade med TorkaS 2.0. För betong med vct=0,38 stämmer torktiderna att nå 90 % beräknade enligt SBUFs lathund bra överens den som utvärderats ur uppmätta värden.

Orsaken till den stora skillnaden i torktid beror sannolikt på utvärderingsmetoden. Uttorkningskurvorna är mycket flacka vilket betyder att en liten ändring i relativ fuktig betyder en avsevärd förändring av torktiden. Det bör också nämnas att osäkerheten i fuktmätningarna på ±1,5 % RF betyder en osäkerhet i utvärdering av uttorkningstiden på upp till ± 50 dygn.

Eftersom torktiderna beräknade enligt SBUFs lathund avviker mycket från torktiderna utvärderade från mätningarna och de beräknade med TorkaS 2.0 har ett försök gjorts att istället hitta faktorer för att beskriva effekten av fillertyp och fillermängd. Utgångspunkten har varit tiden det tar för en konventionell betong med vct=0,6 att torka till 90 % RF i omgivande konstant klimat 20°C och 50 % RF. Torktiden har utvärderats ur figur 3 till 75 dygn. Faktorerna i tabell 5 har tagits fram genom passningsräkning.

Torktiden för en betong beräknas som: Standarduttorkningstiden × faktor 1 × faktor 2 × faktor 3 × faktor 4.

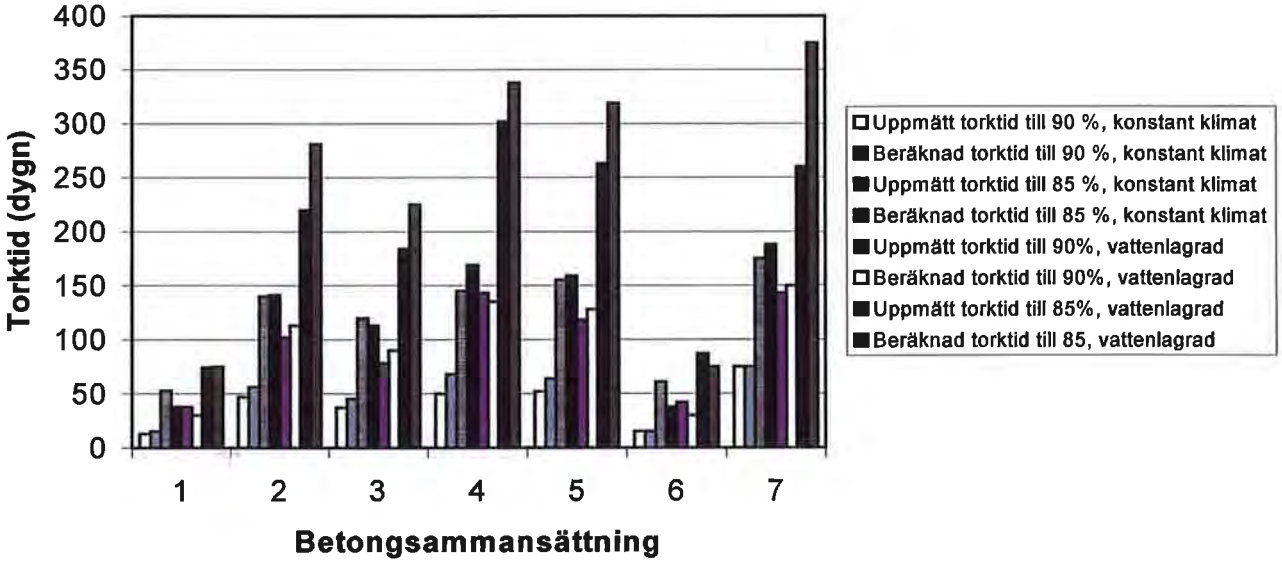
Tabell 5. Föreslagna korrektionsfaktorer för vattencementtal, lagringsklimat, fillertyp och fillermängd.

Korrektionsfaktor			Värde
1	Torktid till 90 respektive 85 % RF	90 %	1,0
		85 %	2,5
2	Vattencementtal	0,60 (0,59)	1,0
		0,38	0,2
3	Lagringsklimat	K	1,0
		V	2,0
4	Fillertyp, fillermängd	Limus 40, 75 kg/m^3	0,6
		Limus 40, 150 kg/m^3	0,75
		Limus 15, 75 kg/m^3	0,9
		Limus 15, 150 kg/m^3	0,85

Tabell 6. Torktider(dygn) utvärderade ur uppmätta uttorkningskurvor samt beräknade med korrektionsfaktorer från tabell 5 och standarduttorkningstiden 75 dygn.

	Klimat K, RF=90%		Klimat K, RF=85 %		Klimat V, RF=90 %		Klimat V, RF=85 %	
Betong	M	B	M	B	M	B	M	B
1	13	15	53	38	38	30	74	75
2	47	56	140	141	102	113	220	281
3	37	45	120	113	78	90	184	225
4	50	68	145	169	143	135	302	338
5	52	64	155	159	118	128	263	319
6	15	15	61	38	42	30	87	75
7	75	75	175	188	143	150	260	375

Förklaring:
Klimat K = konstant klimat 20°C, 50 % RF, Klimat V = Fyra veckors vattenhärdning följt av konstant klimat 20°C, 50 % RF
M = Torktid utvärderad ur uppmätta uttorkningskurvor, B = Torktid beräknad med korrektionsfaktorer i tabell 5.



Figur 15. Uppmätta och beräknade torktider enligt tabell 6.

Eftersom faktorerna enbart grundar sig på mätningar i laboratorium och några få mätningar i fält, bör dessa ses som mycket preliminära. Allteftersom vi får erfarenhet från fler mätningar i fält kan dessa komma att revideras.

10 Andra betydande egenskaper

10.1 Brandtåligheten

Spjälkning vid brand bör beaktas speciellt vid användning av självkompakterande betong. Inom ett projekt finansierat av SBUF, Brandforsk, Skanska Prefab AB och Sveriges Provnings- och forskningsinstitut har brandprov utförts på förspända pelare av självkompakterande betong med olika vct, *referens 3*. I vissa betongsammansättningar tillsattes polypropylenfibrer. Fibrerna smälter när temperaturen höjs i betongen och det bildas ett porsystem där vattenånga kan transporteras. Resultaten visar att självkompakterande betong utan fibrer spjälkar mer än normalt vibrerad betong med samma vattencementtal. Vilken typ av filler som används i betongen har också en inverkan på spjälkningen. Betong med kalkstensfiller spjälkar t ex mer än betong med glasfiller.

10.2 Förmåga ta upp limfukt

Ett annat område som bör beaktas vid användning av självkompakterande betong i golv är limning av ytskikt. Problem har uppmärksammats när ytskikt skall limmas på betong med låga vattencementtal, *referens 4*. Betongen är så tät och har så liten fuktkapacitet att den lilla mängd vatten som tillförs med ett vattenbaserat lim räcker för att fukta upp ytan på betongen. Det resulterar i att relativa fuktigheten i betongen närmast limmet stiger över den kritiska nivån. Detta tillsammans med att en betong med lågt vct och är mer alkalisk än en konventionell betong kan medföra att en nedbrytning av limmet sker trots att RF på normenligt mätdjup ligger väl under den kritiska nivån för det aktuella ytskiktet. En lösning på problemet är att lägga minst 5 mm lågalkalisk avjämningsmassa på betongens yta innan man limmar, *referens 5*. Man erhåller då ett skikt närmast limmet med lägre alkalinitet och högre fuktkapacitet än betongen, som kan ta emot limfukten.

Problemet gäller sannolikt även den självkompakterande betongen med lågt vct och skulle mycket väl även kunna gälla för självkompakterande betong med lite högre vct som även den är betydligt tätare och har lägre fuktkapacitet än konventionell betong. Man bör därför vara uppmärksam på detta när ytskikt skall limmas på alla typer av självkompakterande betong.

11 Konklusion

Mätningarna av uttorkningsförloppen för de olika betongsammansättningarna visar att uttorkningstiden i de flesta fallen var kortare för de självkompakterande betongsammansättningarna som studerats i projektet än för konventionell betong. Torktiden kan reduceras med upp till 40-50 % för en självkompakterande betong med tillsats av en typ av kalkstensfiller. För kalkstensfiller av annan typ är reduceringen betydligt mindre och t o m obetydlig om betongen varit utsatt för vatten tidigt. Detta kan bero på specifik yta, porositet och fuktupptagningsförmåga hos respektive filler, *referens 6* samt porstrukturen i de olika betongsammansättningarna. Effekten av filler på uttorkningstiden ned till 85 % RF är något lägre. Reduceringen av torktiden ned till 85 % för den självkompakterande betongen med kalkstensfiller jämfört med en konventionell betong är inte lika stor som vid uttorkning till 90 % RF.

Det bör påpekas att resultaten i den aktuella studien gäller för dessa specifika blandningar och kan inte att användas för vilken självkompakterande betong som helst. Självkompakterande betong kan ha mycket olika sammansättning och innehåller inte alltid filler och även om den innehåller filler har olika fillertyper och fillermängder troligtvis olika effekt på uttorkningstiden. Det behövs fler mätningar på olika sammansättningar av sjävkompakterande betong för att kunna dra slutsatser om uttorkningstiderna generellt sett är kortare jämfört med konventionell betong.

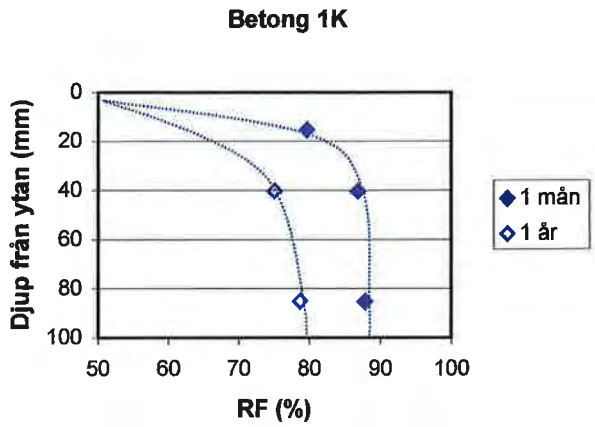
Resultaten från fuktmätningarna som utförts i fält stämmer bra överens med resultaten från laboratoriemätningarna. Det bör dock nämnas att mätosäkerheten för mätningarna både i laboratorium och i fält ger stora osäkerheter vid bedömning av uttorkningstider.

Torktiderna beräknade enligt SBUFs lathund avviker mycket från torktiderna utvärderade från mätningarna och de beräknade med TorkaS 2.0. Därför har ett förslag tagits fram på kompletterande faktorer för att beskriva effekten av fillertyp och fillermängd utgående ifrån uttorkningstiden för en konventionell betong.

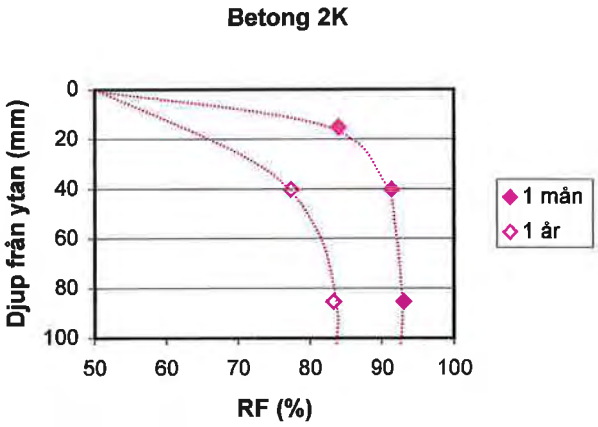
Önskvärt vore att komplettera TorkaS 2.0 med materialdata för självkompakterande betong. Man måste dock vara varse om att små skillnader i sammansättning såsom fillermängd och fillertyp kan ha stor betydelse för betongens fuktbindnings- och fukttransportegenskaper. Betongen kan därför inte definieras enbart med ett vattencementtal och en cementhalt såsom i den nuvarande versionen av TorkaS 2.0 utan kräver sannolikt minst ytterligare två parametrar, fillertyp och fillermängd.

Mätosäkerhet beräknad enligt RBKs rutin för borrhålsmätning med mätsystemet Humi-Guard.

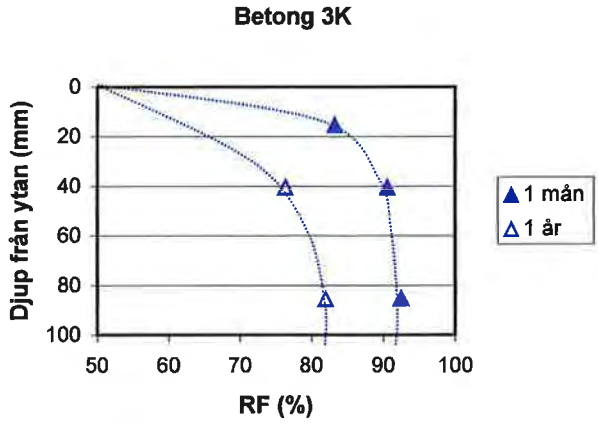
	Faktor	Standard-osäkerhet	Kvadraten på standard-osäkerheten	Kommentar
A	Spridning, konduktans	0,57	0,3249	4 stycken referensceller har använts.
B	Icke lineraritet	0	0	
C	Drift hos givare	0	0	
D	Hysteres	0,3	0,09	
E	Fuktkapacitet	0	0	Fuktkapaciteten hos sensorn är försumbar jämfört med betongens.
F	Noggrannhet på temperaturangivelse	0	0	
G	Osäkerhet i kalibrering	0	0	
H	Kalibreringstabell, temperatur	0	0	
I	Kalibreringstabell, RF	0,4	0,16	
J	Referenscell	0,6	0,36	
K	Mättemperatur annan än kalibreringstemp	0	0	Mätning och kalibrering sker i vid konstant temperatur 20 °C
L	Mättemp. Annan än 20°C	0	0	Mätningen utförs vid 20 °C
M	Olika temperatur mellan givare och betong	0	0	Mätningen utförs vid konstant temperatur.
N	Borrningens inverkan	0	0	Ej relevant.
O	Mättid	0	0	Sensorerna sitter kvar mellan avläsningarna.
P	Temperaturvariation under mätning	0,3	0,09	Mätningen utförs vid konstant temperatur.
Q	Ojämnt uttagna prov	0	0	
R	Avvikelse i mätdjup	0,26	0,0676	Mätrörens monterade i formen med stor precision.
S	Avvikelse i plattjocklek	0	0	Betongen stryks av mot formen. Mätrören monteras i formen med stor precision.
	Kombinerad mätosäkerhet		1,045227	
	Utvidgad mätosäkerhet		**2,1**	Täckningsfaktor k= 2



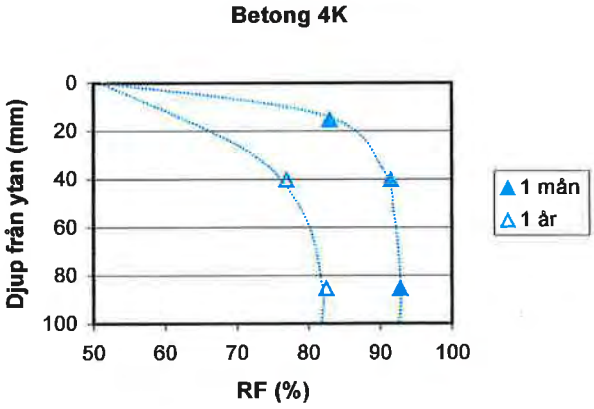
Figur 1. Fuktprofil i självkompakterande betong med vct=0,38, härdad i konstant klimat, 20 °C, 50 % RF.



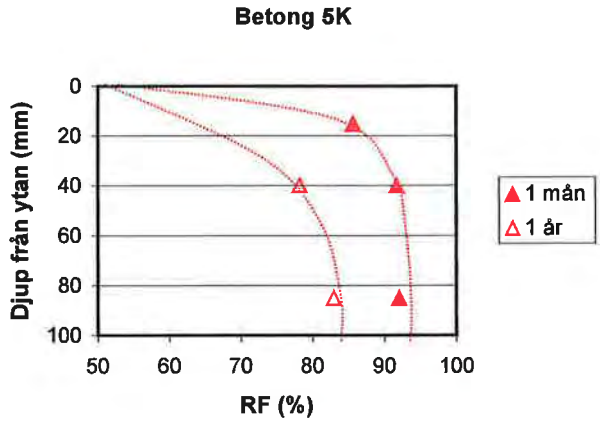
Figur 2. Fuktprofil i självkompakterande betong med vct=0,59, härdad i konstant klimat, 20 °C, 50 % RF.



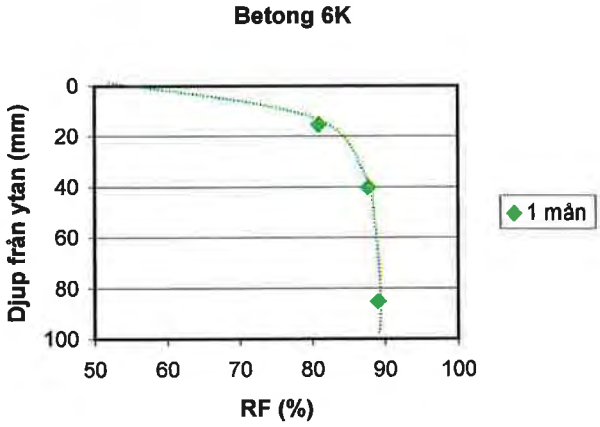
Figur 3. Fuktprofil i självkompakterande betong med vct=0,59, härdad i konstant klimat, 20 °C, 50 % RF.



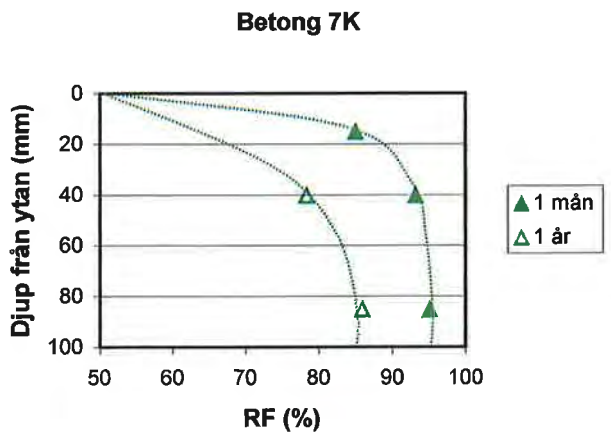
Figur 4. Fuktprofil i självkompakterande betong med vct=0,59, härdad i konstant klimat, 20 °C, 50 % RF.



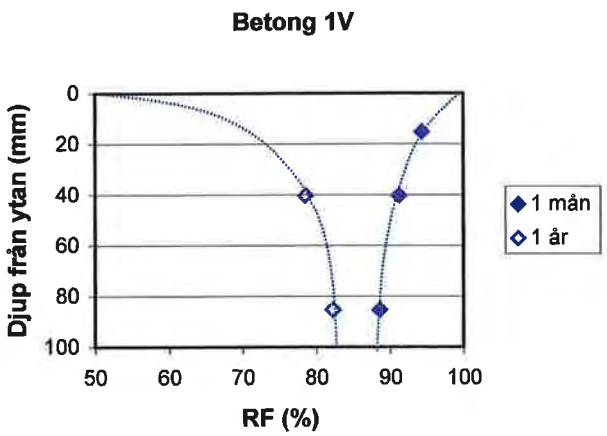
Figur 5. Fuktprofil i självkompakterande betong med vct=0,59, härdad i konstant klimat, 20 °C, 50 % RF.



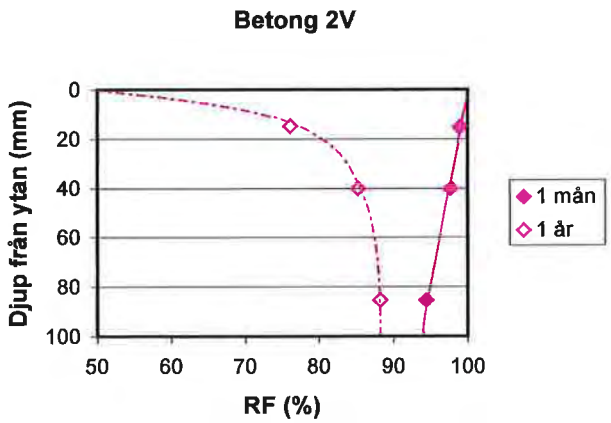
Figur 6. Fuktprofil i betong med vct=0,38, härdad i konstant klimat, 20 °C, 50 % RF.



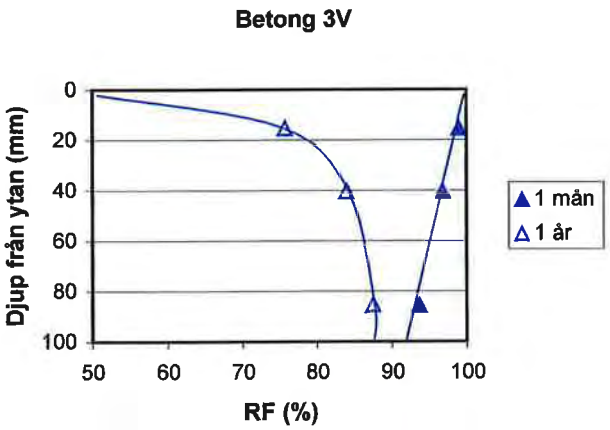
Figur 7. Fuktprofil i betong med vct=0,6, härdad i konstant klimat, 20 °C, 50 % RF.



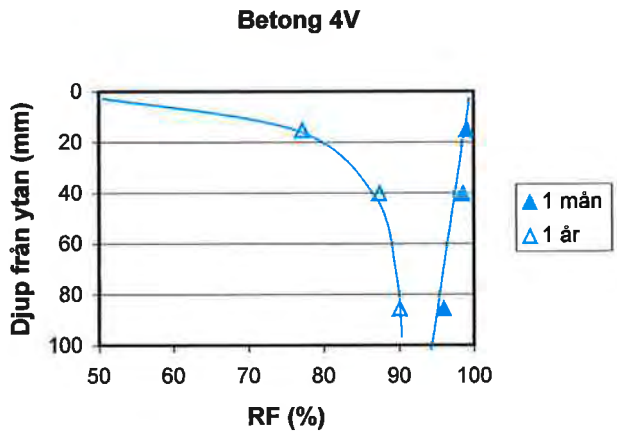
Figur 8. Fuktprofil i SK betong med vct=0,38, härdad 1 mån i vatten och sen i konstant klimat, 20 °C, 50 % RF.



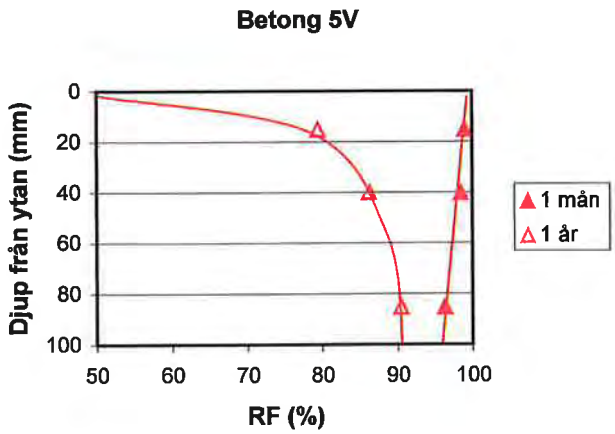
Figur 9. Fuktprofil i SK betong med vct=0,59, härdad 1 mån i vatten och sen i konstant klimat, 20 °C, 50 % RF



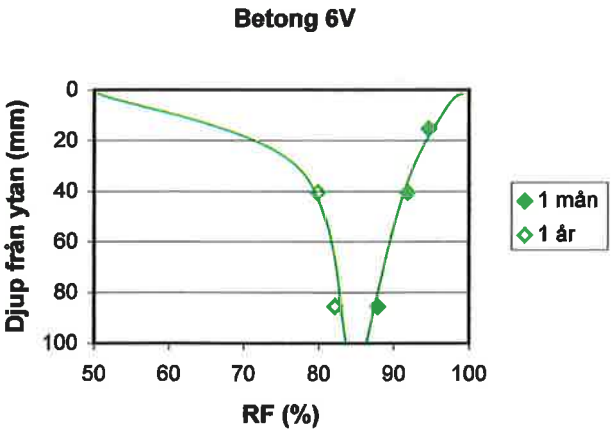
Figur 10. Fuktprofil i SK betong med vct=0,59, härdad 1 mån i vatten och sen i konstant klimat, 20 °C, 50 % RF



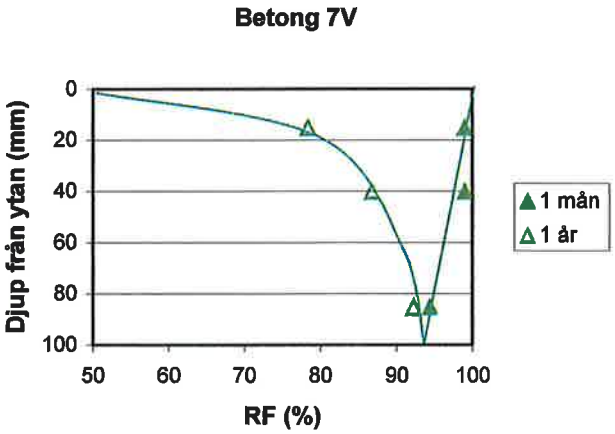
Figur 11. Fuktprofil i SK betong med vct=0,59, härdad 1 mån i vatten och sen i konstant klimat, 20 °C, 50 % RF.



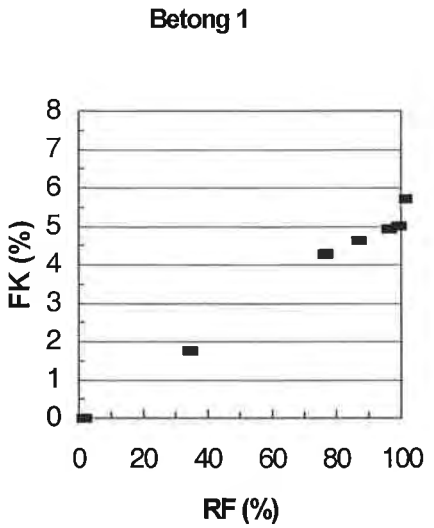
Figur 12. Fuktprofil i SK betong med vct=0,59, härdad i konstant klimat, 20 °C, 50 % RF.



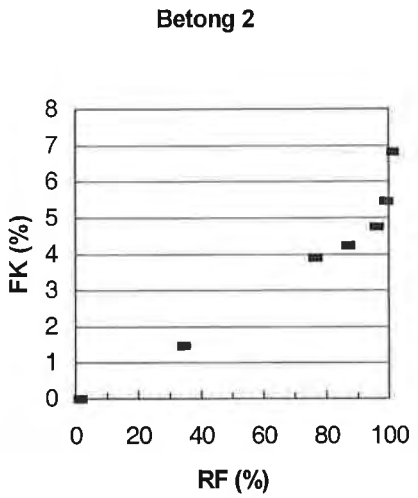
Figur 13. Fuktprofil i betong med vct=0,38, härdad i 1 mån i vatten och sen i konstant klimat, 20 °C, 50 % RF.



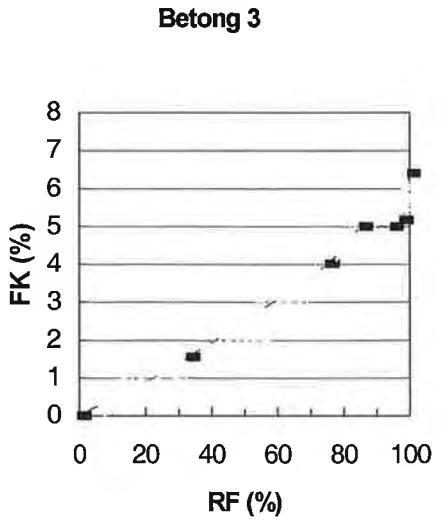
Figur 14. Fuktprofil i betong med vct=0,6, härdad i 1 mån i vatten och sen i konstant klimat, 20 °C, 50 % RF.



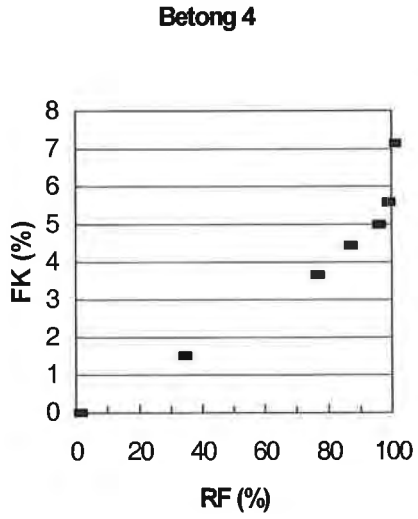
Figur 1. Uppmätta fuktkvoter i provbitar lagrade vid olika relativa fuktigheter. Självkompakterande betong med vct=0,38.



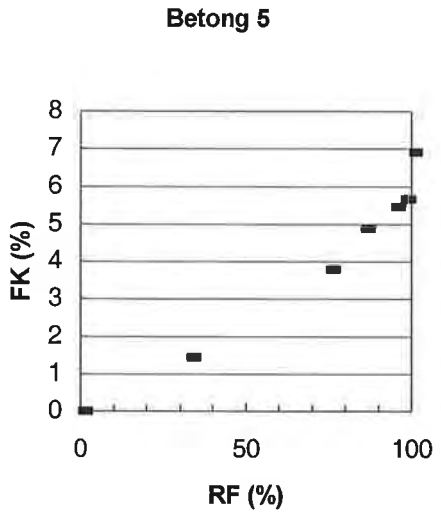
Figur 2. Uppmätta fuktkvoter i provbitar lagrade vid olika relativa fuktigheter. Självkompakterande betong med vct=0,59 och filler Limus 40.



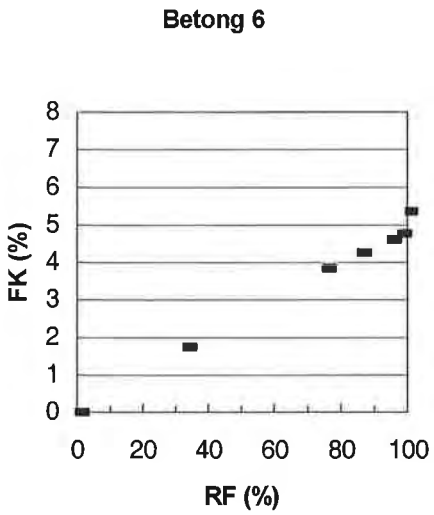
Figur 3. Uppmätta fuktkvoter i provbitar lagrade vid olika relativa fuktigheter. Självkompakterande betong med vct=0,59 och filler Limus 40.



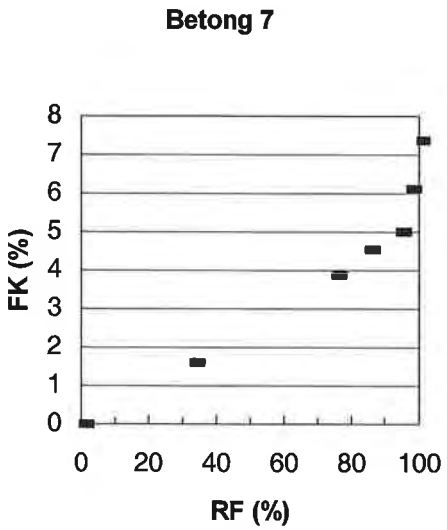
Figur 4. Uppmätta fuktkvoter i provbitar lagrade vid olika relativa fuktigheter. Självkompakterande betong med vct=0,59 och filler Limus 15.



Figur 5. Uppmätta fuktkvoter i provbitar lagrade vid olika relativa fuktigheter. Självkompakterande betong med vct=0,59 och filler Limus 15.



Figur 6. Uppmätta fuktkvoter i provbitar lagrade vid olika relativa fuktigheter. Konventionell betong med vct=0,38.



Figur 7. Uppmätta fuktkvoter i provbitar lagrade vid olika relativa fuktigheter. Konventionell betong med vct=0,60.

SBUF INFORMERAR NR 95:14

Betongtorkning – lathund

Bakgrund och syfte

Avsikten med projektet har varit att förbättra entreprenörers tillgång till kunskap om byggfuktproblemet när betong används i bostadshus.

Genomförande

Projektet har genomförts i samverkan mellan JM, NCC och Skanska, med projektledning hos BELAB Byggergolab AB och med stöd från SBUF.

Cirka 160 anställda hos JM, NCC och Skanska har besvarat en enkät med frågor om kunskapsläget kring betongfukt. Även ett antal beställare och projektörer intervjuades. I nästa steg valdes att ta fram en lathund för betongtorkning, utgående främst från den forskning som bedrivs av Göran Hedenblad och andra forskare vid Fuktgruppen vid LTH.

Bruksanvisning till lathunden

Lathunden är till för att räkna ut *minimitorktid från det att konstruktionen är tät*. Den avser betong med portlandcement som bindemedel. Lathunden är baserad på betongens vattencementtal (vct) och inte på K-värdet. Dagens tillsatser till betongen gör att K-värdet inte längre är en bra startpunkt för att beräkna torktider.

Lathunden utgår från ett standardbjälklag med

tjocklek	18 cm
temperatur	18°C
luftens RF	60%
uttorkning	dubbelsidig
härdning	2 veckor regn + 2 veckor fuktmättad luft alt tät täckning

För att räkna ut den minimitorktid du behöver, väljer du först vct och den RF (85% eller 90%) du önskar att betongen skall nå ned till. Sedan använder du korrektionsfaktorerna (se plastkortet eller baksidan på informationsbladet) för att komma fram till den aktuella torktiden.

Ytterligare information om

– erfarenheter av uttorkning: Lars Söderlind, NCC AB, tel 031-771 50 00, Håkan Nykvist, Skanska Stockholm AB, tel 08-655 82 50, Johnny Kellner, JM Byggnads AB, tel 08-782 87 00 och av projektledaren för Uttorkningsprojektet vid LTH, Olof Adler, Siab AB, tel 042-17 03 00.

– laboratorieproven: Göran Fagerlund eller Göran Hedenblad, Fuktgruppen vid LTH, tel 046-222 74 15.

– informationsanalysen: Carl-Axel Eriksson, BELAB, tel 08-751 00 50.

Rapporten Produktionsanpassad information om byggfukt i betong (40 sid) och ett OH-underlag (19 sid) kan beställas från SBUF, tel 08-679 79 79.

Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, Nybrokajen 7[VI], 111 48 Stockholm. Telefon 08-679 79 79. Telefax 08-611 49 42.